

# ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАКАЛКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА Fe–Mn–Si СПЛАВА

*Лабзова Л.В.*

ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет», г. Тула  
LabzovaLiliy@mail.ru

Комплекс функциональных свойств сплавов системы Fe–Mn–Si определяется многими факторами, в том числе термической обработкой, в частности, температурой нагрева под закалку [1].

Цель работы: изучить влияние режимов термической обработки на структуру и эффект памяти формы (ЭПФ) сплава Fe–23Mn–5Si.

Образцы подвергали закалке из однофазной  $\gamma$ -области от 400 – 1000 °С, с шагом 100 °С; выдержка в течение 60 минут, охлаждение в воде.

Для металлографического изучения структуры применяли оптический микроскоп *Axio Observer D1m* при увеличениях  $\times 50 \dots \times 1000$ . Фазовый состав определяли методом рентгеноструктурного анализа на установке ДРОН 2.0 с использованием кобальтового  $K_\alpha$  излучения. Температуры обратного и прямого превращения определяли dilatометрическим методом, с помощью оптического индикаторного dilatометра. Измерения проводили в интервале температур 20 – 500 °С со скоростью нагрева и охлаждения 5 – 10 °С/мин.

Характеристики эффекта памяти формы сплава при деформации проволочных образцов кручением (значения предварительной деформации  $\gamma_{пр}$  до 5 %) определяли на установке, разработанной на кафедре ФММ ТулГУ [2]. По полученным графикам зависимостей  $\gamma(T)$  (рисунок 1) определяли характеристики памяти формы. Степень восстановления формы  $K$  рассчитывали по формуле  $K = \frac{\gamma_{ост} - \gamma_n}{\gamma_{ост}} \cdot 100 \%$ . Погрешность

определения характеристик ЭПФ не превышает 10 %. Обработку экспериментальных данных проводили с использованием ППП Origin v.7.0.

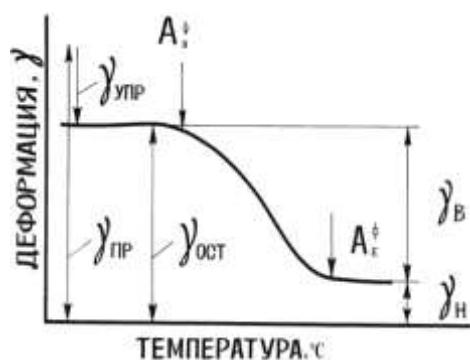


Рисунок 1 – Характеристики формовосстановления, определяемые по зависимости  $\gamma(T)$

Проведенные металлографические исследования сплава Fe–23Mn–5Si показали, что образовавшаяся после закалки из аустенитной области структура представляет собой мартенсит и аустенит.

По данным фазового рентгеновского анализа структура закаленного сплава Fe–23Mn–5Si в общем случае может содержать три фазы – аустенит ( $\gamma$ -фаза) и два вида мартенсита –  $\epsilon$  и  $\alpha$ . По мере повышения температуры закалки количество  $\epsilon$ -мартенсита уменьшается, а  $\alpha$ -мартенсита – возрастает почти до 95 %. Доля аустенита сохраняется на уровне 10 – 30 % (рисунок 2).

Исследование влияния температуры закалки на степень формовосстановления показало, что зависимость  $K(T_{\text{зак}})$  имеет вид кривой с максимумом при температурах закалки 600...700 °C. Максимальное восстановление формы достигает 75 %.

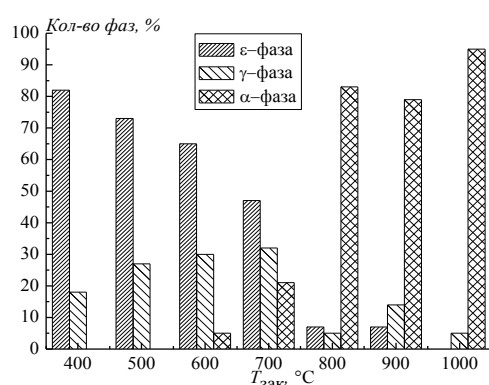


Рисунок 2 – Фазовый состав сплава Fe–23Mn–5Si после закалки от 400 – 1000 °C

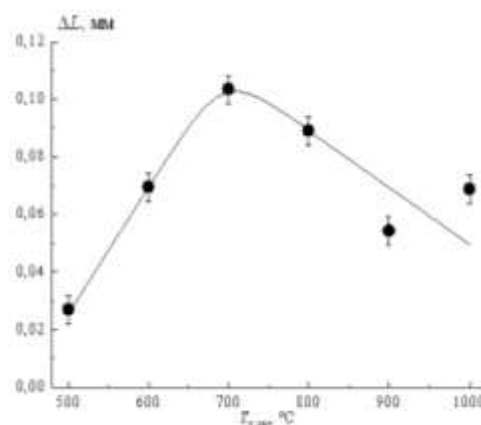


Рисунок 3 – Зависимости линейного эффекта прямого МП сплава Fe–23Mn–5Si от температуры закалки

Комплекс проведенных исследований позволил установить, что закалка от различных температур из области  $\gamma$ -твердого раствора влияет на структуру и свойства сплава Fe–23Mn–5Si. На основании чего можно предположить, что высокотемпературное аустенитное состояние не является стабильным и при повышении температуры до 1000 °C развиваются процессы, приводящие к усилению негомогенности аустенитной фазы. На основании полученных экспериментальных данных и результатах проведенного термодинамического анализа для сплава Fe–23Mn, сформулирована гипотеза о развитии процессов расслоения  $\gamma$ -твердого раствора. Анализ литературы [3, 4] показал также, что легирование кремнием должно усугублять уже существующую тенденцию к концентрационному расслоению аустенита.

Результаты проведенных исследований позволяют предположить следующую схему развития превращений. При нагреве в область

однофазного твердого раствора в результате расслоения аустенита будет формироваться структура, состоящая из областей обедненных и обогащенных марганцем и, возможно, кремнием. При этом с учетом постоянства времени выдержки (1 час), степень расслоения будет увеличиваться по мере повышения температуры нагрева. В областях с максимальной степенью обогащения превращение  $\gamma \rightarrow \epsilon$  при охлаждении не происходит. В обедненных марганцем областях при охлаждении будет происходить превращение  $\gamma \rightarrow \epsilon \rightarrow \alpha$  в зависимости от степени обеднения. Предполагая, что области, обогащенные и обедненные по марганцу, не разделены межфазными границами, мартенситный сдвиг  $\gamma \rightarrow \alpha$ , зарождающийся в областях, обедненных марганцем, может распространяться на значительный объем  $\gamma$ -фазы.

Выводы по работе:

1. Методами рентгеноструктурного, дилатометрического анализов, а также измерениями степени восстановления формы показана зависимость структуры и свойств сплава Fe–23Mn–5Si от температуры закалки. На основании полученных данных и выполненного термодинамического анализа стабильности  $\gamma$ -твердого раствора предложена гипотеза о существовании концентрационного расслоения в однофазной  $\gamma$ -области.
2. Определены характеристики ЭПФ в сплаве Fe–23Mn–5Si при деформации кручением. Максимальный эффект восстановления формы проявляется после  $\gamma_{пр}=1\%$  и достигает 75 % после закалки от 600...800 °С.

Список литературы:

1. Лабзова Л. В. Закономерности структурообразования и формирования эффекта памяти формы в сплавах системы Fe<sub>(95-x)</sub>–Mn<sub>(x)</sub>–Si<sub>5</sub> (x=23...30 ат. %): Автореферат дис... канд. техн. наук / ТулГУ, 2011. 20 с.
2. Пат. РФ № 92538. МПК<sup>8</sup> G01N 3/38. Устройство для измерения параметров восстановления формы в материалах / С. И. Архангельский, Л. В. Лабзова, Г. В. Маркова, И. В. Чуканов // Б.И. 2010. № 8.
3. Ustinovshikov, Y., Pushkarev, B., Sapegina, I. Phase separation in the Fe–Mn system. (Разделение фаз в системе Fe–Mn) // J. of Alloys and Compounds – 2005. – Vol. 399. – P. 160 – 165.
4. Литвинов, В. С. Межатомное взаимодействие в железомарганцевых сплавах, их стабильность и свойства // МиТОМ. – 1995. – № 10. – С. 16 – 20.